

⑤

Int. Cl. 2:

**F 16 D 1/06**

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

**DE 26 56 946 A 1**

⑪

# **Offenlegungsschrift 26 56 946**

⑫

Aktenzeichen: P 26 56 946.0

⑬

Anmeldetag: 16. 12. 76

⑭

Offenlegungstag: 29. 6. 78

⑮

Unionspriorität:

⑮ ⑮ ⑮

⑮

Bezeichnung: Zahnwellenverbindung

⑰

Anmelder: Daimler-Benz AG, 7000 Stuttgart

⑱

Erfinder: Schöpf, Hans-Joachim, Dr.-Ing., 7000 Stuttgart

**DE 26 56 946 A 1**

2656946

# Ansprüche

1. Zahnwellenverbindung zwischen einer Welle und einer Nabe mit einer Vielzahl von axial sich erstreckenden form-schlüssig ineinandergreifenden Zähnen und Zahnücken bzw. Gegenzähnen und Gegenzahnücken, wobei zwischen den Flanken von sich berührenden Zähnen bzw. Gegenzähnen ein entlang der Richtung der axialen Erstreckung sich erweiterndes Zahnflankenspiel vorgesehen ist, welches in der Größenordnung der elastischen Deformation von Zahn oder Gegenzahn unter Last bemessen ist, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t , daß die Zähne (4) und Gegenzähne (5) wenigstens auf einem kleinen Bruchteil - Zentrierlänge ( $l_g$ ) - der axialen Erstreckung (1) der Zahnwellenverbindung wenigstens annähernd gleichmäßig spiel-frei ineinander eingreifen und auf dem verbleibenden Teil - Zuschnittlänge ( $l_z$ ) - der axialen Erstreckung (1) mit einem sich in Richtung auf das der Kraftflußrichtung (3) entgegenweisende stirnseitige Ende (9) der Zahnwellenverbindung erweiternden Zahnflankenspiel (s) ausgebildet sind, wobei die Erweiterung des Zahnflankenspiels (s) nach einem solchen Gesetz: Zahnflankenspiel als Funktion der Axialkoordinate (z) - Spielerweiterungsfunktion - erfolgt, dessen erste Ableitung ( $f'$ ) des Zahnflankenspiels (s) nach der Axialkoordinate (z) an der Stelle (13) des Beginns der Spielerweiterung gleich Null ist.

809826/0035

2. Zahnwellenverbindung nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , daß die Zahnwellenverbin-  
dung im Bereich der Zentrierlänge ( $l_g$ ) über die Zahnflan-  
ken (6 und 7) der in Eingriff stehenden Zähne (4) und Ge-  
genzähne (5) zentriert ist.
3. Zahnwellenverbindung nach Anspruch 1 oder 2, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Zäh-  
ne (5) und Zahnücken des Nabenteiles (2) der Zahnwel-  
lenverbindung über deren ganze axiale Erstreckung (1)  
streng prismatisch und die Zähne (4) des Wellenteils (1)  
im Bereich der Zuschnittlänge ( $l_z$ ) mit abnehmender Brei-  
te ausgebildet sind.
4. Zahnwellenverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die  
Spielerweiterungsfunktion sich als Kreisbogen darstellt,  
deren Mittelpunkt (14) über der Stelle (13) des Beginns  
der Spielerweiterung liegt.
5. Zahnwellenverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die  
Zahnflanken (6 bzw. 7) evolventenförmig ausgebildet sind.
6. Zahnwellenverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der  
Wellenteil (1) der Zahnwellenverbindung spanlos durch  
eine abwälzende Massivumformung eines zunächst glattzy-  
lindrischen Zapfens zwischen zwei Walzwerkzeugen herge-  
stellt ist.

7. Zahnwellenverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet, daß die  
Zentrierlänge ( $l_e$ ) etwa gleich der Zuschnittlänge ( $l_z$ )  
bemessen ist.

### Zahnwellenverbindung

Die Erfindung betrifft eine beispielsweise aus der DT-PS 1 425 231 bekannte Zahnwellenverbindung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Die Zielsetzung bei der Schaffung der durch die DT-PS 1 425 231 vorbekannten Zahnwellenverbindung war die, durch gezielte Bemessung des über die axiale Erstreckung der Zahnwellenverbindung hinweg veränderlichen Zahnflankenspieles die Lebensdauer der Zahnwellenverbindung zu erhöhen. Es wurde bei der vorbekannten Zahnwellenverbindung aus diesem Grunde ein über die gesamte Erstreckung der Verbindung hinweg sich linear veränderndes Zahnflankenspiel vorgesehen, wobei das maximale Zahnflankenspiel in der Größe der maximalen Zahndeformation bzw. der maximalen Wellentorsion unter Belastung war.

Diese Ausgestaltung der Zahnwellenverbindung hat verschiedene Nachteile: Zum einen ist sie wegen der erforderlichen Umfangszentrierung von Welle und Nabe nur durch sehr genau und zwar spanabhebend bearbeitete Umfangsflächen möglich.

Dies setzt eine entsprechende spanabhebende Bearbeitung voraus, die zumindest bei der Massenfertigung derartiger Verbindungen unvertretbar kostspielig ist. Ferner hat die Praxis gezeigt, daß mit derartigen Maßnahmen ausgeprägte Spannungsspitzen auf der dem Kraftfluß zugekehrten Seite der Zahnwellenverbindung und von ihnen ausgehende Dauerbrüche nicht vermieden werden können.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, Spannungsspitzen an Zahnwellenverbindungen der zugrunde liegenden Art so stark abzubauen, daß Dauerbrüche auch ohne kostspielige dauerfestigkeitssteigernde Maßnahmen am Werkstoff normalerweise nicht mehr zu befürchten sind. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 gelöst.

Aufgrund der tangential sich voneinander abhebenden Zahnflanken bei Beginn der Spielerweiterung kommt es bei Belastung infolge der Verformung zu einer Abplattung der in Axialrichtung gekrümmt ausgebildeten Zahnflanke und somit zu einer allmählichen, lastabhängigen Verlängerung der Berührungslänge. Im übrigen wird durch die Krümmung der Zahnflanke in Axialrichtung und das tangential abheben die Stelle größter Spannung axial auf einen größeren Bereich verteilt. Da derartige Zahnwellenverbindungen in der Regel mit einem Lastkollektiv, d. h. mit Lasten unterschiedlicher Höhe und unterschiedlicher Frequenz beansprucht werden, verlagert sich entsprechend der Höhe der Belastung der Beginn der Zahnflankenberührung in Axialrichtung und dementsprechend wandert nach Maßgabe der Belastungsstärke der Ort der höchsten Beanspruchung. Es findet also eine axiale Streckung und somit ein Abbau der Belastungsspitze und eine zeitliche Verteilung der Einwirkungsstelle auf einen größeren Bereich durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Zahnwellenverbindung statt. Zwar kann die Erfindung auch auf fremdzentrierte oder am Umfang selbst zentrierte Zahnwellenverbindungen angewandt wer-

den, die als Ganzes oder wenigstens teilweise spanabhebend gefertigt werden. Dank des tangentialen Verlaufes der Spiel-  
erweiterung und der sich dadurch ergebenden wenigstens ge-  
ringfügigen Zentrierlänge kann aber grundsätzlich auch eine  
Flankenzentrierung der Zahnwellenverbindung vorgesehen sein.  
Hierin liegt für die Großserienanwendung ein besonderer Vor-  
teil, da spanlos z. B. im <sup>oder Quervalz-</sup>Längsverfahren hergestellte Wel-  
lenverzahnungen lediglich hinsichtlich der Flankenform und  
der Zahnstärke sehr genau, nicht aber hinsichtlich des Zahn-  
kopfdurchmessers genau gefertigt werden können. Die Anwend-  
barkeit der Flankenzentrierung bei der erfindungsgemäß aus-  
gestalteten Zahnwellenverbindung ist ein besonderer Vorteil  
für die Anwendung in der Massenfertigung.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand einiger in den Zeich-  
nungen dargestellter Ausführungsbeispiele noch kurz erläu-  
tert; dabei zeigen:

- Fig. 1            eine seitliche Schnittansicht einer Zahnwel-  
lenverbindung,
- Fig. 2            einen achsenkrechten Schnitt durch die Welle  
mit axialer Ansicht auf die Zahnwellenverbin-  
dung (Linie II-II in Fig. 1),
- Fig. 3            eine vergrößerte Darstellung der Einzelheit  
III in Fig. 2,
- Fig. 4            ein abgewickelter Zylinderschnitt (Linie IV-IV  
in Fig. 3), wobei das Flankenspiel in Umfangs-  
richtung stark übertrieben dargestellt ist,

- Fig. 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindung mit aus der Wellenkontur herausragender Wellenverzahnung u n d
- Fig. 6 eine Gegenüberstellung des Spannungsverlaufes entlang der axialen Erstreckung der Zahnwellenverbindung bei herkömmlichen und bei erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindungen.

Bei der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Zahnwellenverbindung sind eine Welle 1 und eine Nabe 2 durch eine Verzahnung 4/5 formschlüssig miteinander verbunden. Die Nabe besteht aus einem Nabenflansch 3 und einer Nabenschulter 3a. An dem einen Ende der Welle 1 ist die Verzahnung 4 angebracht, die im Ausführungsbeispiel nach den Fig. 1 bis 4 als eingearbeitete Verzahnung ausgebildet ist. Entsprechend ist im Innern der Nabe eine Innenverzahnung 5 angebracht. Die Verzahnung 4 und 5 ist mit Evolventenförmigen Flanken ausgebildet und kann daher maßgenau mit gradflankigen Werkzeugen im Abwälzverfahren hergestellt werden. Zweckmäßigerweise wird die Wellenverzahnung durch einen spanlosen Roll- oder Walzvorgang zwischen zwei entsprechend geformten Zahnstangenwerkzeugen hergestellt; diese Art der Fertigung ist für die Massenherstellung besonders gut geeignet. Es lassen sich damit Wellenzähne mit sehr hoher Zahnfestigkeit und mit hoher Flankengenauigkeit in jeder gewünschten Toleranzlage fertigen. Während die Zahnflanken 6 durch einen solchen spanlosen Walzvorgang sehr genau gefertigt werden können, müssen für die Durchmesserlage der Zahnköpfe 4a und für die Zahngründe 4b der Wellenzähne 4 größere Toleranzbreiten in Kauf genommen werden. Die Nabenverzahnung 5 wird zweckmäßigerweise



durch einen Räumvorgang hergestellt. Hierbei ergeben sich die Nabenzahnköpfe 5a aus dem zunächst spanabhebend vorbearbeiteten Innendurchmesser der Nabe; die Durchmesserlage der Nabenzahnköpfe 5a kann daher sehr eng toleriert sein. Die Nabenzahngründe 5b dienen als Bearbeitungsauslauf für die Nabenzahnflanken 7; sie sind für eine Umfangszentrierung der Verzahnung aufgrund dieser Form ungeeignet.

Die höchstbeanspruchte Stelle der Verzahnung liegt auf der dem Kraftfluß 8 zugekehrten Stirnseite 9 der Zahnwellenverbindung; die entlastete Stirnseite der Verbindung ist die Seite 10. Von den beiden in Eingriff stehenden Verzahnungen 4 und 5 ist die Wellenverzahnung 4 eindeutig die höherbelastete. Normalerweise tritt unter Last an der Stelle 9 im Wellenzahn eine Spannungsspitze auf.

Zur Reduzierung und zur axialen Streckung dieser Spannungsspitze sind erfindungsgemäß die Zahnflanken 6 der Wellenzähne 4 in Richtung auf die belastete Seite 9 der Zahnwellenverbindung tangential zugeschnitten. Der Zuschnitt ist nur auf einen Teilbereich - Zuschnittlänge  $l_z$  - der axialen Konstruktionslänge der Zahnwellenverbindung beschränkt. In dem verbleibenden Bereich - Zentrierlänge  $l_e$  - sind die Zähne 4 bzw. die Gegenzähne 5 spielfrei/ineinandergepaßt; die Zahnwellenverbindung wird aufgrund der an den Flanken aneinanderliegenden Zähne selbst zentriert. An der Übergangsstelle 13 zwischen Zentrierlänge und Zuschnittlänge hebt die Flanke 6 des schmaler werdenden Wellenzahnes 4 tangential von dem über die ganze Länge streng prismatisch ausgebildeten Nabenzahn 5 bzw. dessen Flanke 7 ab. Die Kon-

\*) (. h. mit Übergangspassung oder Überdeckung)

tur der Zahnflanke im Zylinderschnitt der Fig. 4 gesehen hat kreisbogenförmigen Verlauf, was in Fig. 4 durch den Radiuspfeil  $R'$  angedeutet ist. Durch eine derartige Konturierung ergibt sich mit zunehmender axialer Entfernung vom Beginn 13 ein progressiv zunehmendes Flankenspiel  $s$ . Die im Bereich der Zuschnittlänge  $l_z$  dargestellte Zahnflankenkontur kann als grafische Darstellung eines mathematischen Gesetzes über das Zahnflankenspiel als Funktion der Axialkoordinate - Spielerweiterungsfunktion - verstanden werden. In Fig. 4 ist als strichpunktierte Linie  $f'$  die erste Ableitung des Zahnflankenspieles nach der Axialkoordinate der Spielerweiterungsfunktion eingetragen. Innerhalb des Bereiches der Zuschnittlänge  $l_z$  stellt sich diese Ableitungsfunktion  $f'$  mit sehr guter Näherung als gerade ansteigende Linie dar. Bei Beginn 13 des Zuschnittes geht diese Linie durch Null. Dies besagt, daß die Spielerweiterungsfunktion bzw. die gekrümmte Flankenkontur tangential und sehr vorsichtig von der Gegenflanke 7 abhebt. Durch dieses sanfte Abheben der Wellenzahnflanke ergibt sich eine Verbreiterung der höchstbelasteten Stelle der Zahnflanken in Axialrichtung und somit ein Abbau der Spannungsspitzen. Unter Last wird sich die belastete Zahnflanke des Wellenzahnes affin deformieren. Dadurch wird der Beginn der Berührung der gekrümmten Zahnflanke weiter in Richtung auf die belastete Seite 9 vorrücken; d. h. der Ort der höchsten Belastung ist örtlich nicht festgelegt, sondern verlagert sich in Axialrichtung. Hierdurch wird ein höheres Werkstoffvolumen zur Aufnahme der höchsten Beanspruchung mit herangezogen, wodurch im Hinblick auf Ermüdungsbrüche eine spürbare Werkstoffentlastung eintritt. Optimal ist es, wenn in grober Näherung die Zuschnittlänge  $l_z$  gleichlang ist wie die Zentrierlänge  $l_o$ .

In Fig. 6 ist der Spannungsverlauf in Axialrichtung über die Zahnwellenverbindung hinweg aufgetragen. Und zwar ist der Spannungsverlauf bei herkömmlichen Zahnwellenverbindungen - strichpunktierte Linie - dem Spannungsverlauf bei erfindungsgemäßen Zahnwellenverbindungen - volle Linie - gegenübergestellt. Durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen ist die Spannungsspitze um wenigstens 30 % niedriger und der Spannungsverlauf ist wesentlich ausgeglichener als bei herkömmlicher Ausgestaltung.

In Fig. 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Zahnwellenverbindung mit sogenannter aufgesetzter Wellenzahnung dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel ist - mit übertriebener Überhöhung - gezeigt, wie am Übergangspunkt 13 zwischen dem Bereich der Zentrierlänge  $l_0$  und dem Bereich der Zuschnittlänge  $l_z$  der Zuschnitt mit kreisbogenförmigem Verlauf einsetzt. Der Krümmungsmittelpunkt 14 liegt senkrecht oberhalb des Übergangspunktes 13. Das Evolventenprofil ist entlang einer kreisbogenförmigen Kontur radial nach innen verschoben - Krümmungsradius R.

Neben den bereits erwähnten Vorteilen einer deutlichen Werkstoffentlastung und der Anwendbarkeit in der spanlosen Fertigung hat die Erfindung den weiteren Vorteil, daß aufgrund besserer Werkstoffausnutzung die Abmessungen einer Zahnwellenverbindung bei gleicher Belastungshöhe kleiner gestaltet werden kann, wodurch sich außerdem leichtere Konstruktionen ergeben. Dies ist grade im Fahrzeugbau besonders wichtig. Durch die erfindungsgemäße Werkstoffentlastung kann u. U. sogar ein Härtevorgang der Zähne der Zahnwellenverbindung eingespart werden. Im übrigen lassen sich die Vorteile der Erfindung mit nur sehr geringfügigen

Änderungen an den Verzahnungswerkzeugen ohne weiteres in die Fertigung einführen. Es brauchen lediglich an den für das Walzen der Verzahnung in die Welle verwendeten Zahnstangen entsprechende - negative - Zuschnitte vorgesehen sein. Dies ist beim heutigen Stand in der Technologie spanloser Formung und beim entsprechenden Stand der Werkzeuggestaltung ohne weiteres möglich.

<sup>12</sup>  
Leerseite

2656946

Nummer:  
Int. Cl.2:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

26 56 948  
F 16 D 1/08  
16. Dezember 1976  
29. Juni 1978

15

Fig. 1

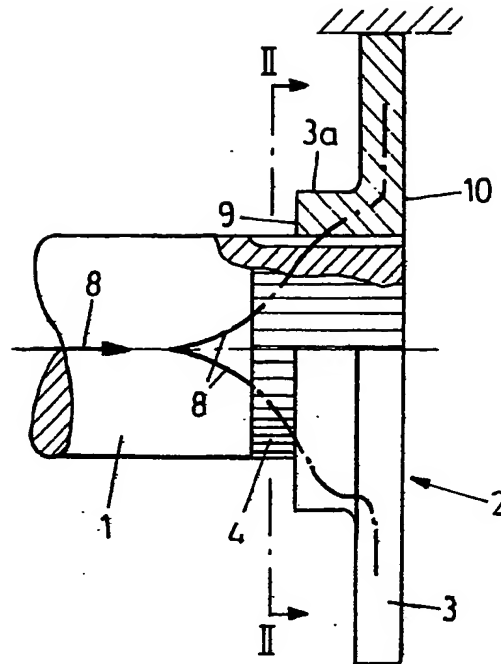
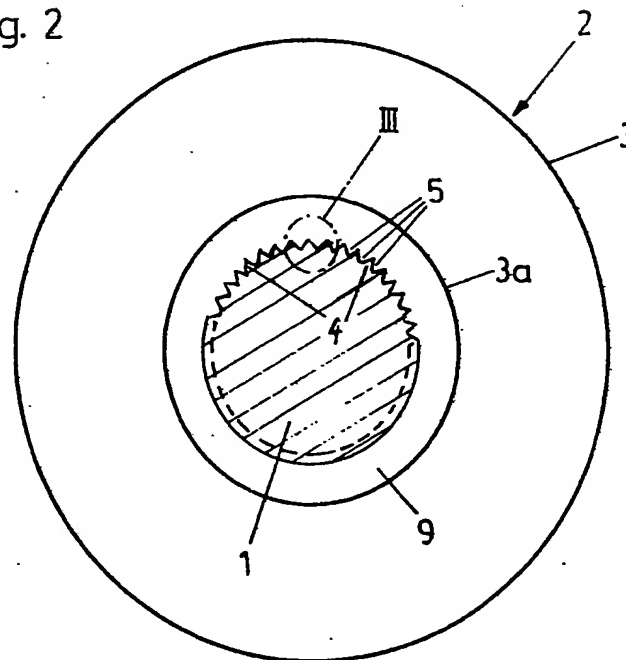


Fig. 2



809826/0035



2656946

- 14 -

Fig. 5

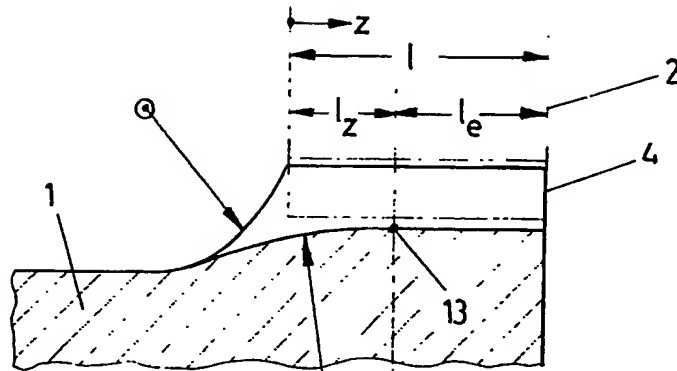
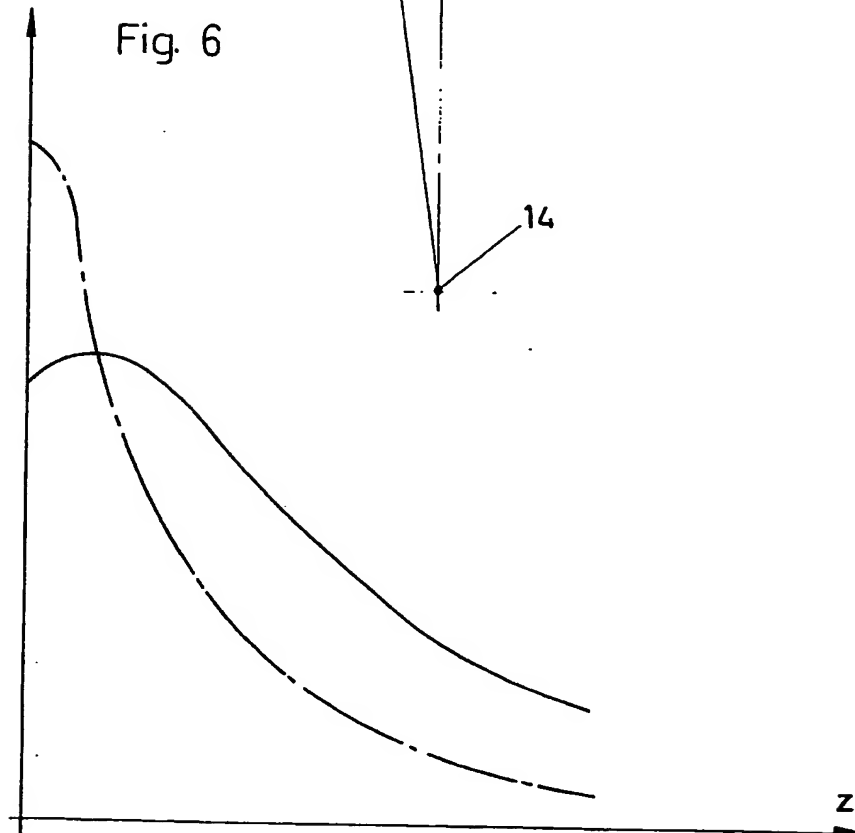


Fig. 6



809826/0035